



## VALIDAÇÃO DO MODELO WASA-SED A BACIAS DE MESO-ESCALA DO BIOMA CAATINGA

*José Wellington Batista Lopes<sup>1</sup>, Pedro Henrique Augusto Medeiros<sup>2</sup> & José Carlos de Araújo<sup>3</sup>*

**RESUMO** --- O assoreamento nos reservatórios de água superficiais se traduz em efeitos negativos sobre a capacidade de armazenamento e a disponibilidade hídrica. Apesar de amplamente discutida, a modelagem do assoreamento ainda carece de estudos e avaliação que comprovem a eficiência na representação. Assim, essa pesquisa foi conduzida com o objetivo de medir e modelar o assoreamento em dois reservatórios no semiárido brasileiro, os quais apresentam significativa relevância para o abastecimento de água às comunidades rurais no município de Madalena, CE. Os resultados encontrados no âmbito dessa pesquisa permitem concluir que: i) a área da bacia hidrográfica, é o fator preponderante para a variação na produção específica de sedimento e consequentemente na taxa de assoreamento decadal, refletindo divergência na modelagem dos processos para a menor bacia; ii) para a validação do modelo na estimativa do assoreamento, torna-se imprescindível as medidas de assoreamento nos reservatórios, e; iii) O uso do modelo WASA-SED apresenta-se viável para a modelagem do assoreamento em reservatórios com bacias hidrográficas de meso-escala.

**ABSTRACT** --- Siltation in reservoirs brings negative effects on storage capacity and water availability. Despite its importance, modeling of silting still needs and evaluation studies that prove the efficiency of the processes representation. Thus, this research was conducted in order to measure and model the silting in two reservoirs in the semiarid region, which have significant relevance for the supply of rural communities in the municipality of Madalena, EC. The results of this study allow us to conclude that: i) The catchment area is probably the most important factor for variation in specific sediment yield and consequently the rate of siltation decadal, reflecting divergence in the modeling of processes for the lower basin; ii) to validate the model in estimating the sedimentation becomes imprescindível measures siltation in the reservoirs, and; iii) The WASA-SED model is a viable alternative for modeling of silting in reservoirs of meso-scale basins.

**Palavras-chave:** assoreamento, reservatórios, semiárido, modelagem.

---

<sup>1</sup> Doutorando Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Ceará. Av. Mister Hall, s.n. Fortaleza (CE). Email: wellingtonjwl@gmail.com

<sup>2</sup> Professor Dr. IFCE – Campus Maracanaú. Av. Parque Central. Maracanaú – (CE). Email: phamedeiros@ifce.edu.br

<sup>3</sup> Professor Dr. Universidade Federal do Ceará, Av. Mister Hall, s.n. Fortaleza (CE). Email: jcaraujo@ufc.br

## INTRODUÇÃO

Um dos problemas sócio-ambientais que acarretam prejuízos para as mais diversas atividades desenvolvidas na Terra é a erosão. A erosão, o transporte e a deposição de sedimentos é uma problemática central e reflexo direto de como são e como se desenvolveram as atividades antrópicas sobre os recursos naturais. Tais fenômenos comprometem a qualidade de vida da sociedade, principalmente devido ao decréscimo da produtividade agrícola (Montgomery, 2007), à redução da capacidade de armazenamento dos reservatórios (de Araújo, 2003; Abril & Knight, 2004), à intensificação dos processos de desertificação (Vanmaercke *et al.*, 2011), à ocorrência de inundações (Bormann; Pinter; Elfert, 2011) e à redução da disponibilidade hídrica (de Araújo; Güntner; Bronstert, 2006). Todas essas conseqüências dão destaque para a importância de estudos referentes à sedimentologia e, em especial, ao assoreamento em reservatórios a fim de permitir o entendimento do sistema.

Concernente aos impactos da erosão e mais especificamente a produção de sedimentos sobre os reservatórios de armazenamento superficiais, o Estado do Ceará, onde 93% da água ofertada vêm dos reservatórios superficiais, a situação torna-se ainda mais agravante. A conservação e controle daqueles recursos se faz necessária, haja vista a densidade ótima de reservatórios pode ocorrer, de modo que é impraticável aumentar a oferta hídrica eficientemente com a construção de mais barragens (Malveira; de Araújo; Güntner, 2011). O principal reflexo negativo da produção de sedimento no caso do Estado do Ceará é o assoreamento nos reservatórios superficiais, onde os sedimentos depositados no lago, para uma vazão regularizável com 90% de garantia decai cerca de  $388 \text{ L.s}^{-1}$  todo ano (de Araújo; Güntner; Bronstert, 2006).

Apesar de amplamente discutido, estudos referentes ao assoreamento em reservatórios em regiões semiáridas são escassos e, dada a importância da compreensão dos processos, a modelagem passa a ser uma ferramenta fundamental no planejamento da bacia hidrográfica. Os avanços em quantidade e qualidade dos modelos sedimentológicos são expressivos, no entanto a representação fiel dos processos físicos é tarefa difícil e que demanda tempo, haja visto que a forma de representação de cada processo do ciclo no sistema varia com a escala da bacia, com os objetivos dos estudos envolvidos, com a disponibilidade de dados.

Dessa forma, objetiva-se com essa pesquisa medir e modelar o assoreamento em dois reservatórios no semiárido brasileiro. Tais reservatórios são de grande relevância para o abastecimento de comunidades rurais no município de Madalena, CE. A modelagem tem como base a subdivisão da bacia em subáreas tão homogêneas quanto possível. Em cada área e a cada mês a

erosão bruta é calculada pela equação universal de perda de solos (USLE). A produção de sedimentos de cada subárea é admitida como o produto da erosão bruta pelo SDR. A soma das contribuições de sedimentos afluentes ao reservatório é multiplicada pela eficiência de retenção, o que resulta em uma estimativa da massa acumulada no referido mês. A integral temporal da massa assoreada resulta na massa total sedimentada que, dividida pela massa específica aparente seca, indica o volume assoreado no período.

## **MÉTODOS E MATERIAIS**

### **Área de estudo**

Os reservatórios estão localizados no Assentamento 25 de Maio (A25M) (Figura 1), que é situado entre os municípios de Madalena (maior parte do seu território), Boa Viagem e Quixeramobim, microrregião dos Sertões de Quixeramobim, Sertão Central do Estado do Ceará, distante a 210 km de Fortaleza. A área ocupada pelo A25M é de aproximadamente 230 km<sup>2</sup> e habitada por 586 famílias, organizadas em 13 comunidades. O A25M dispõe de onze pequenos açudes (capacidades entre 60 mil e 5 milhões de m<sup>3</sup>) e um açude de médio porte (~15 hm<sup>3</sup>), todos situados na sub-bacia do rio Banabuiú, pertencente à bacia do rio Jaguaribe. Desses, dois reservatórios foram utilizados na análise, sendo esses: i) Marengo e ii) São Joaquim.

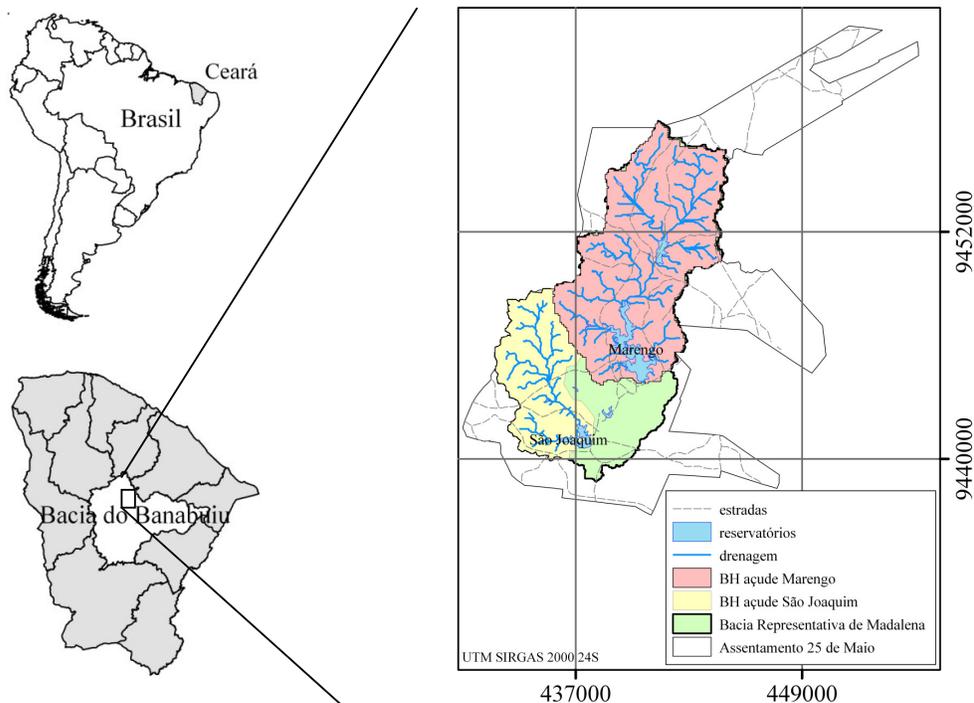


Figura 1 – Localização geográfica e delimitação das áreas de estudo. No mapa está indicada a bacia do Banabuiu e os reservatórios Marengo e São Joaquim

Os barramentos dos reservatórios Marengo e São Joaquim foram construído e ampliados por meio do projeto de açudagem cooperativa do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS. As barragens dos açudes Marengo e São Joaquim foram construídas em 1934 e 1932, respectivamente. A ampliação dessas ocorreu em 1956 (Marengo) e 1950 (São Joaquim).

A barragem do açude Marengo represa o rio efêmero denominado de Ipueiras ou Marengo. Já a barragem do açude São Joaquim represa os riachos efêmeros denominados de Carnaúbas Tortas e Capa da Sela. Os tributários de ambos os barramentos constituem trechos do subsistema do Rio Quixeramobim/ Rio Banabuiu, estando inseridos no sistema Rio Jaguaribe.

A área superficial inundada pelos reservatórios é de 285 ha e 142 ha, as capacidades de armazenamento iniciais eram de 16,8 hm<sup>3</sup> e 5,1 hm<sup>3</sup>, e as áreas de drenagem correspondem a 74,0 km<sup>2</sup> e 30,8 km<sup>2</sup> para Marengo e São Joaquim respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1 – Características hídricas do reservatório Marengo e São Joaquim

Características hídricas	Construção*		Ampliação*	
	Marengo	São Joaquim	Marengo	São Joaquim
Capacidade (hm <sup>3</sup> )	7,0	1,8	16,8	5,1
Bacia hidrográfica (km <sup>2</sup> )	74,0	30,8	74,0	30,8
Bacia hidráulica (ha)	167,1	72,2	285,0	142,0
Precipitação média anual (mm)	787,7	662,0	787,7	852,2

\* A construção do açude Marengo se deu em 1934 e sua ampliação em 1956; enquanto que a construção do açude São Joaquim ocorreu em 1932 e sua ampliação em 1950.

Para a parametrização do modelo as bacias hidrográficas dos reservatórios foram admitidas como sub-bacias da Bacia Representativa de Madalena (Figura 1). Esse procedimento foi realizado no intuito de minimizar a demanda computação e o tempo para parametrização, uma vez que as bacias hidrográficas de ambos os reservatórios apresentam as mesmas características como, o clima tipo tropical semiárido; variabilidade temporal das chuvas; períodos de estiagem prolongados; temperatura média em torno de 26° C a 28° C; estação chuvosa geralmente de fevereiro a maio; déficit hídrico natural, devido às altas temperaturas e altas taxas de evaporação, associado com a irregularidade pluviométrica; formação geológica composta por rochas do embasamento cristalino, representadas por gnaisses, migmatitos, e plutônicas associadas com a composição metaplutônica predominantemente granítica; e uso do solo, composto basicamente por vegetação de Caatinga densa, Caatinga rala, solo exposto e agropecuária.

### Levantamentos batimétricos

Dois levantamentos batimétricos foram realizados, um no açude Marengo em julho de 2011 e o segundo no açude São Joaquim em junho de 2012. Os levantamentos foram conduzidos com o objetivo de atualizar as curvas cota-área-volume dos reservatórios, possibilitando o procedimento de validação por meio das medidas do assoreamento nos dois reservatórios.

Para os levantamentos batimétricos foi utilizado um GPS de navegação para o levantamento das coordenadas dos pontos de contorno, margens dos açudes e seções batimétricas, assim como, um profundímetro para medida das profundidades ao longo de diversas seções batimétricas. Foram coletados mais de 3.000 pontos (profundidades) ao longo da bacia hidráulica do Marengo e aproximadamente 1.000 pontos no açude São Joaquim. A densidade de pontos coletados foram 11 pontos/ha e 12 pontos/ha no Marengo e São Joaquim, respectivamente.

## **Modelagem do assoreamento**

A modelagem do assoreamento nos reservatórios ora descritos foi realizada através de simulações utilizando o modelo hidrossedimentológico WASA-SED (*Water Availability in Semi-Arid Environments with a Sediment Dynamics Component*) (Güntner & Bronstert, 2004). As simulações diárias compreenderam o período de janeiro de 1950 (ano em que a ampliação da barragem do açude São Joaquim foi concluída) a dezembro de 2012, totalizando 23.011 dias.

O modelo WASA-SED é um modelo determinístico, físico e semi-distribuído, que simula o balanço hídrico de uma unidade de drenagem. O modelo é voltado principalmente para representar o processo chuva-deflúvio, balanço hídrico diário e o assoreamento dos reservatórios, o qual, por sua vez, inicia-se com o cálculo da umidade do solo, regida pelas trocas hídricas entre solo, vegetação e atmosfera. A partir de um evento de precipitação, a umidade de uma espessura de solo qualquer é avaliada pelo fluxo vertical somado aos fluxos laterais superficiais e subsuperficiais. Assim, a forma do terreno, a litologia e a estrutura das camadas de solo constituem as bases do modelo de escoamento. Além disso, o modelo contempla características específicas do semiárido simulando processos que se destacam nesses ambientes como, por exemplo, escoamento do tipo Hortoniano, infiltração de escoamento a jusante, redistribuição lateral de escoamento e densa rede de pequenos açudes.

Para representar a variabilidade espacial das características da bacia (tais como topografia, tipo de solo e cobertura vegetal) e sua influência na geração de escoamento, é adotada uma discretização espacial hierarquizada da área de estudo em cinco níveis de escala:

Nível 1: Sub-bacia - unidade básica, delimitada de acordo com a localização de reservatórios e postos fluviométricos;

Nível 2: Unidade hidrológica (landscape unit – LU) - associação de vertentes com sequência semelhante de litologia, solo e vegetação ao longo da encosta;

Nível 3: Componente de terreno (TC) - sub-área de uma LU com mesma posição na encosta e características semelhantes de declividade, solo e vegetação;

Nível 4: Componente de solo e vegetação (SVC) - consiste em uma combinação específica de solo e cobertura vegetal em um TC, sendo representado por seu percentual de área dentro do respectivo TC;

Nível 5: Perfil do solo - menor componente espacial da hierarquia.

Para a obtenção de resultados na escala de bacia ou sub-bacia (Nível 1), faz-se necessário a identificação/parametrização dos demais níveis hierárquicos inferiores. Para tanto, são identificadas as unidades de paisagem (LU) (nível 2); essas por sua vez são divididas em componentes de terreno (TC), que são formados em função da topografia (declividades) da encosta (nível 3); no nível subsequente (nível 4) cada componente de terreno é subdividido em associações de solo e cobertura vegetal, gerando o conjunto solo-vegetação (SVC), expresso em percentual que ocupa no respectivo TC.

No modelo WASA-SED, o balanço hídrico é iniciado na escala de perfil de solo (nível 5), onde são especificados os horizontes de solos em cada SVC considerando processos verticais e horizontais, e as transferências de fluxo e agregação do escoamento são computadas até a escala de sub-bacia. Ainda no perfil ocorre o detalhamento da relação entre os horizontes de solo nos diferentes tipos de componente solo-vegetação. Os horizontes de solo vão até o topo do embasamento impermeável ou até a profundidade da zona de raízes, quando o embasamento for muito profundo. Uma vez calculado o escoamento de uma sub-bacia, o mesmo é propagado na rede de drenagem para, então, ser transferido para os reservatórios superficiais.

Concernente a modelagem nos reservatórios, o modelo simula o transporte de água e sedimentos, computando o balanço hidrossedimentológico para os reservatórios localizados na área de estudo. Dessa forma, a simulação compreende resultados de balanço hídrico, cálculos hidráulicos, transporte de sedimentos e mudanças na topografia dos reservatórios localizados no ponto de saída das bacias. Dos resultados fornecidos pelo modelo, foram utilizados três principais, um que representa modificações nas curvas cota-área-volume dos reservatórios, outro que representa as alterações no volume morto e no volume de alerta devido ao assoreamento, e o que computa o balanço de sedimentos no lago.

A modelagem em reservatórios pelo WASA-SED permite o cálculo do transporte de sedimentos não uniforme ao longo do perfil longitudinal de um reservatório, a estimativa nas mudanças da topografia do reservatório devido aos processos de deposição/erosão e, também, a simulação de estratégias de gestão de sedimento.

A simulação do transporte de sedimentos nos reservatórios considera os quatro importantes processos: i) o equilíbrio de água do reservatório; ii) os cálculos hidráulicos no reservatório; iii) o transporte de sedimentos ao longo do perfil longitudinal do reservatório e iv) as mudanças nas cotas

de fundo. No cálculo do transporte de sedimentos no reservatório, quatro diferentes equações para o cálculo da carga total de sedimentos podem ser selecionados. As alterações nas cotas do fundo do reservatório são calculados pelo balanço de sedimentos em cada secção transversal, considerando três camadas conceituais de sedimentos acima do material do leito inicial. A rotina sedimentológica reservatório é composta por diferentes sub-rotinas, entre as quais pode-se citar: i) balanço hídrico; ii) balanço de sedimentos em cada secção transversal; iii) balanço de sedimentos simplificado, caso a geometria não seja fornecida; iv) cálculos hidráulicos para cada secção transversal do reservatório; v) cálculo da variação da geometria do reservatório; vi) distribuição vertical da concentração de sedimentos no reservatório; vii) balanço hídrico para redes de pequenos reservatórios; viii) balanço de sedimentos simplificado para redes de pequenos reservatórios.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Medida do assoreamento nos reservatórios

No reservatório Marengo, constatou-se que o volume atual é de aproximadamente 15,3 hm<sup>3</sup>, cerca de 1,5 hm<sup>3</sup> inferior ao volume inicial medido em 1956 (16,8 hm<sup>3</sup>). Isso representa um volume 9% inferior ao volume inicial, o que resulta em uma redução da capacidade de armazenamento de 1,6% por década. A partir desses dados, estima-se que a produção específica de sedimento na bacia do Marengo corresponde a 487 t km<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> (Figura 2a). Em contraponto, o assoreamento no açude São Joaquim, estimado pela comparação das curvas cota-área-volume original e em 2011, causou a perda de 1,9 hm<sup>3</sup> na capacidade de armazenamento no período de 62 anos, resultando na redução do volume de 5,1 hm<sup>3</sup> para 3,2 hm<sup>3</sup>. Portanto, a sub-bacia apresenta maior produção específica de sedimento do que a sub-bacia do açude Marengo, sendo essa variável calculada em 1.340 t km<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>. Ao final, tem-se um volume 37% inferior ao volume inicial, ou seja, uma redução de 6,0% por década, e assim três vezes superior ao padrão médio estimado para a região semiárida brasileira que é de 2% por década segundo de Araújo (2003) (Figura 2b).

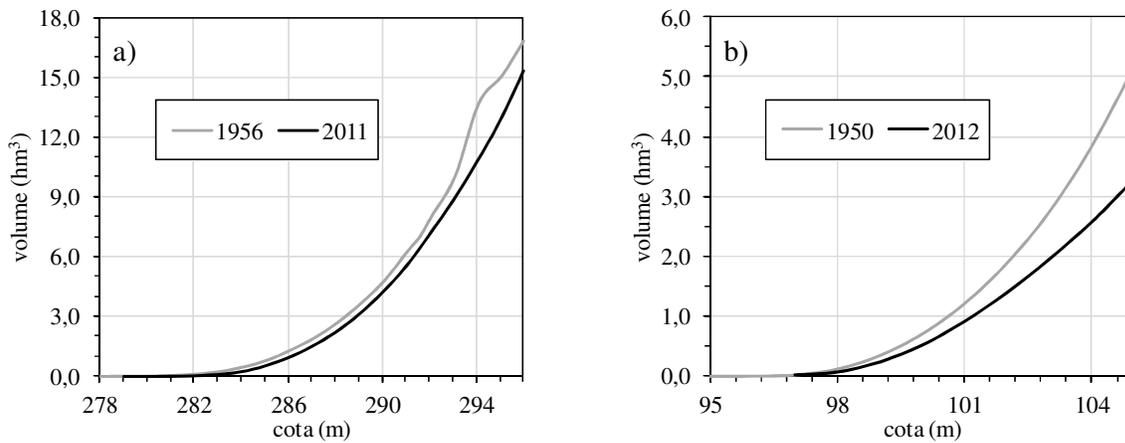
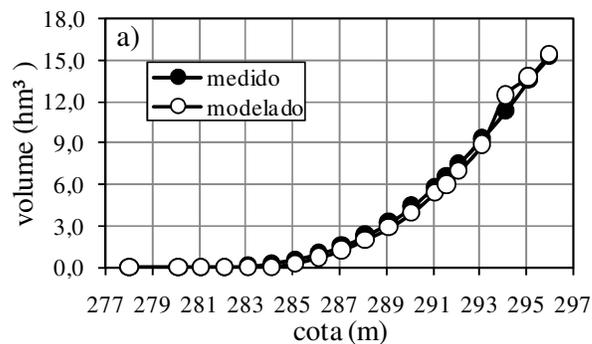


Figura 2 – Curvas cota-volume dos reservatórios Marengo (a) e São Joaquim (b)

### Modelagem do assoreamento nos reservatórios

A Figura 3 (a e b) ilustram as curvas cota-volume medidas e modeladas para os açudes Marengo e São Joaquim. No Marengo a diferença entre medido e modelado para o volume máximo de armazenamento é de 0,13 hm³, o que representa um erro de apenas 1%. No assoreamento modelado para o São Joaquim observou-se uma diferença de 1,2 hm³ apresentando, assim, um erro de 27%.



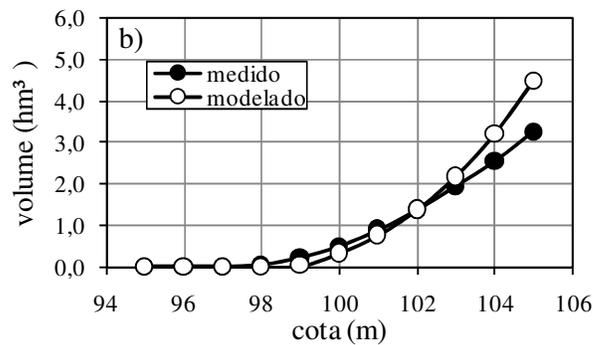


Figura 3 - Curvas cota-área-volume dos reservatórios Marengo (a) e São Joaquim (b)

Os bons resultados encontrados na sub-bacia do Marengo, não foram observados na sub-bacia do São Joaquim. O baixo assoreamento simulado pelo modelo no reservatório São Joaquim, o qual foi estimado a partir da atualização da curva cota-volume, pode ser devido a fatores isolados e/ou específicos daquela sub-bacia, e que não foram devidamente considerados na parametrização. O coeficiente de escoamento (C) e a relação escoamento hortoniano e total (H:EscT) entre as sub-bacias são similares e podem não ser um fator preponderante para a inequivalência no assoreamento medido e modelado na sub-bacia do São Joaquim. A taxa de sedimentação média anual do São Joaquim em relação à do Marengo foi inferior em todas as simulações apresentadas em cerca de 3%, sendo provável que a simulação da retenção de sedimentos ou a quantidade de sedimentos que chega ao reservatório tenha sofrido alterações devido ao baixo refinamento na parametrização naquela sub-bacia (Tabela 2).

Tabela 2 - Resultados de variáveis hidrossedimentológicas simuladas

variável	sub-bacia	
	Marengo	São Joaquim
C (%)	13,6	13,9
H:EscT	53,5	52,8
S (%)	18	15

C – coeficiente de escoamento; H:EscT – relação escoamento hortoniano e total; S – taxa de sedimentação média anual.

Os resultados ora apresentados destacam a importância da parametrização na modelagem dos processos sedimentológicos, e mais ainda o efeito de escala causado quando a parametrização é focada em uma bacia maior sem adequação de parâmetros para a menor. Observa-se que os resultados encontrados para a sub-bacia do Marengo são coerentes para as medidas disponíveis na validação, fato não constatado para a sub-bacia do São Joaquim onde a diferença no volume perdido por assoreamento no reservatório é bem distinta do simulado pelo modelo.

Outro fato a ser levado em consideração é a subestimação dos volumes para cotas menores tanto no Marengo como no São Joaquim. Isso leva a crer que o modelo não consegue representar adequadamente a distribuição dos sedimentos depositados dentro do lago devido, provavelmente, ao efeito do depósito (e formação) em deltas, o qual não é contemplado no modelo WASA-SED.

Reforçando a discussão sobre o papel da parametrização na modelagem, pode-se destacar alguns estudos, como o desenvolvido por Medeiros et al. (2010) em duas bacias semiáridas de diferentes escalas espaciais (bacia hidrográfica do Benguê - 1000 km<sup>2</sup>; bacia experimental de Aiuaba - 12 km<sup>2</sup> e sub-bacia do Benguê). Naquele estudo, quando os parâmetros do modelo WASA-SED foram fornecidos almejando apenas a bacia do Benguê, o coeficiente NSE para aquela escala foi de 0,99. No entanto, observou-se o baixo desempenho do modelo para a sub-bacia de Aiuaba, em que o NSE foi de 0,42. Com a adequação dos parâmetros às condições locais, os coeficientes NSE foram de 0,95 e 0,71 e as diferenças entre as produções de sedimentos medidas e modeladas foram de -27% e -4% para a bacia do Benguê e sub-bacia de Aiuaba, respectivamente.

Resultados semelhantes foram constatados por Malveira; de Araújo; Güntner (2011) ao modelarem a bacia do Alto Jaguaribe utilizando o modelo WASA-SED. Em seu estudo, houve uma melhoria da eficiência do modelo com o aumento da área da bacia. Para o reservatório Orós (bacia hidrográfica de 24.167 km<sup>2</sup>), o coeficiente NSE para volumes armazenados medidos e modelados foi de 0,99, já na escala de sub-bacia, o coeficiente sofreu redução conforme a área da bacia hidrográfica, chegando a um valor negativo (-0,34) em uma sub-bacia com 308 km<sup>2</sup>.

Assim sendo, a parametrização utilizada neste estudo permitiu uma estimativa dos aportes de água e sedimentos na escala da sub-bacia do Marengo, sendo que para a sub-bacia do São Joaquim os resultados das simulações devem ser admitidos considerando a menor equivalência que o modelo apresentou quanto aos resultados sedimentológicos medidos e modelados.

## CONCLUSÕES

A produção específica de sedimento e a taxa de assoreamento decadal apresentam variação entre as bacias em estudo e relacionada, provavelmente, a área da bacia hidrográfica, apresentando divergência na modelagem do assoreamento para a menor bacia.

As medidas de assoreamento nos reservatórios são essenciais na validação do modelo para longos períodos de avaliação, principalmente para as rotinas sedimentológicas.

O modelo WASA-SED apresenta-se, apesar de suas limitações, confiável para a simulação do assoreamento em reservatórios com bacias hidrográficas de meso-escala.

## AGRADECIMENTOS

A CAPES (processo 097/10), à FUNCAP, ao grupo HIDROSED e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da UFC.

## BIBLIOGRAFIA

ABRIL, B.; KNIGHT, D.W.(2004). *Stabilising the Paute River in Ecuador*. Proceedings of the ICE-Civil Engineering, 156 (1), pp. 32-38.

BORMANN, H.; PINTER, N.; ELFERT, S. (2011). *Hydrological signatures of flood trends on German rivers: Flood frequencies, flood heights and specific stages*. Journal of hydrology, 404, pp. 50-66.

DE ARAÚJO, J. C. (2003). *Assoreamento em reservatórios do semiárido: modelagem e validação*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 8 (2).

DE ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT A. (2006). *Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil*. Hydrological Sciences Journal - Journal des Sciences Hydrologiques, 51 (1).

GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. (2004). *Representation of landscape and lateral redistribution processes for large-scale hydrological modelling in semi-arid areas*. Journal of Hydrology, 297 (2-3), pp.136-161.

MALVEIRA, V. T. C.; DE ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A. (2011). *Hydrological impact of a high-density reservoir network in the semiarid north-eastern Brazil*. Journal of Hydrologic Engineering. Doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000404.

MEDEIROS, P. H. A.; GÜNTNER, A.; FRANCKE, T., MAMEDE, G. L., DE ARAÚJO, J. C. (2010). *Modelling spatio-temporal patterns of sediment yield and connectivity in a semi-arid catchment with the WASA-SED model*. Hydrological Sciences Journal, 55 (4), pp. 636-648, doi:10.1080/02626661003780409.

MONTGOMERY, D. R. (2007). *Soil Erosion and agricultural sustainability*. PNAS, 104 (34), pp. 13268-13272.

SANTOS, L. L.; SRINIVASAN, V. S.; ARAGÃO, R. (2012). *Modelagem hidrossedimentológica no semi-árido paraibano utilizando o modelo WEPP e o efeito de escala sobre os seus parâmetros*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 17 (1), pp. 53-63.

VANMAERCKE, M.; POESEN, J.; MAETENS, W.; DE VENTE, J.; VERSTRAETEN, G. (2011). *Sediment yield as a desertification risk indicator*. Science of the Total Environment, 409, pp. 1715-1725.